

Serologische Untersuchungen zur Frage der verwandtschaftlichen Beziehungen von *Pan paniscus* SCHWARZ 1929 zu anderen Hominoiden¹

Von J. SCHMITT, W. SPIELMANN und M. WEBER²

Aus dem Zoologischen Garten Frankfurt/Main

Direktor: Prof. Dr. Dr. B. Grzimek

und dem Blutspendedienst der Universitätskliniken Frankfurt/Main

Direktor: Prof. Dr. W. Spielmann

Eingang des Ms. 29. 4. 1961

Die von SCHWARZ (36) als Unterart beschriebene, in der Eingeborenen-sprache als Bonobo bezeichnete Zwergform des Schimpansen wird im bisher vorliegenden Schrifttum recht unterschiedlich beurteilt. Einige Autoren (33, 35, 36, 37) betrachten ihn als Unterart, andere als Art (9, 15, 16, 24, 34), wieder andere sogar als selbständige Gattung (41). Sie stützen ihre Auffassungen auf morphologische Untersuchungen, teilweise auch auf Studien des Verhaltens.

Der Zwergschimpanse Bonobo, der in den Wäldern unmittelbar südlich des Kongo-bogens beheimatet ist, wird von SCHWARZ (36) erstmals als *Pan satyrus paniscus* (= Unterart) beschrieben. COOLIDGE (9) erhebt ihn zu einer eigenen Art. SCHWARZ (37) entgegnet ihm mit dem Hinweis: „dwarfing does not only occur in the chimpanzee of the Equateur province“ und verweist auf ähnliche Fälle. RODE (33), der sich eingehend mit dem Bonobo beschäftigt hat, führt ihn wie SCHWARZ nur als Unterart. SCHOUTEDEN (34), MILLER (24) und FRECHKOP (16) betrachten ihn als eigene Art. TRATZ und HECK (41) schlagen vor, den Zwergschimpansen zu einer eigenen Gattung „*Bonobo*“ zu erheben. Sie führen eine Reihe morphologischer und psychologischer Merkmale an, in denen sich die beiden Genera unterscheiden. Die beschriebenen Unterschiede werden von VAN DEN BERGH (2) (laut persönlicher Mitteilung an FIEDLER [15]) teilweise bestätigt. TRATZ und HECK vertreten die Ansicht, daß die Notwendigkeit zu gattungsmäßiger Abtrennung „noch durch die Angaben des Importeurs der Hellabrunner Bonobos, daß Bonobos neben Schimpansen im gleichen Gebiet leben, bekräftigt“ wird. SCHULTZ (35) antwortet den beiden Autoren mit dem Hinweis, daß bei größeren Reihenuntersuchungen die scheinbare morphologische Unterscheidbarkeit erheblich geringer wird. Eine Reihe der beobachteten Unterschiede führt er hauptsächlich auf die geographische Isolation zurück. Er vertritt die Ansicht, daß eine unterartliche Abtrennung genügt, daß eventuell weitere Untersuchungen eine artliche, niemals aber eine gattungsmäßige Abtrennung erforderlich machen. Gegen die hohe Bewertung der Unterschiede zwischen Schimpanse und „*Bonobo*“ durch TRATZ und HECK führt FIEDLER (15) noch folgende Argumente an: „Bedeutende Größenschwan-

¹ Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt, wofür an dieser Stelle gedankt sei.

² Herrn Prof. Dr. G. SCHOOP zum 60. Geburtstag.

kungen innerhalb gesicherter Gattungen kennen wie verschiedentlich. In solchen Fällen lassen sich z. B. am Schädel auf Grund längst bekannter Allometriegesetzlichkeiten immer Unterschiede feststellen, wie die von TRATZ und HECK als Gattungsmerkmale angeführten. Sollte der Bonobo tatsächlich neben anderen Schimpansen vorkommen, so müßte er nach den geltenden systematischen Anschauungen auch dann nur als eigene Art gewertet werden. Vikariieren wird bekanntlich nur für verschiedene Rassen gefordert.“ Seines Erachtens ließe sich am ehesten eine – allerdings auch nur artliche – Abtrennung noch auf Grund der Verhaltensmerkmale rechtfertigen.

Serologische Untersuchungen zur Frage der verwandtschaftlichen Beziehungen von *Pan paniscus* SCHWARZ 1929 zu anderen Hominoiden liegen unseres Wissens bisher nicht vor. Wir haben deshalb den Versuch unternommen, diese Frage serologisch zu bearbeiten. Dabei bedienten wir uns folgender Tests:

1. Präzipitationstests

Seit der Einführung der Präzipitationsreaktion in die Serologie um die Jahrhundertwende hat man diese häufig zur Prüfung verwandtschaftlicher Beziehungen herangezogen. So haben bereits UHLENHUTH (42, 43), WASSERMANN und SCHÜTZE (44) und STERN (40) erkannt, daß ein Anti-Mensch-Serum nicht nur mit Menschenblut, sondern auch mit Affenbluten eine mehr oder weniger positive Reaktion liefert. Die Untersuchungen von NUTTALL (31, 32) konnten in eindrucksvoller Weise die auf morphologischem Wege gewonnenen Anschauungen über die phylogenetische Verwandtschaft der Primaten bekräftigen. Eine weitere wesentliche Erweiterung unserer Kenntnisse bezüglich der „Anthropomorphenverwandtschaft“ des Menschen haben wir den umfangreichen serodiagnostischen Untersuchungen MOLLISONS (25, 26, 27, 28) und seines Schülers VON KROGH (19, 20) zu verdanken. In neuerer Zeit hat KRAMP (17) die bisher bei den Primaten vorliegenden Ergebnisse der biologischen Eiweißdifferenzierung erschöpfend dargestellt und kritisch gesichtet.

2. Anti-Globulin-Tests

Im Jahre 1908 machte MORESCHI (29) die Beobachtung, daß das Serum einer Ziege, die wiederholt mit Kaninchenerythrozyten immunisiert wurde, einen Antikörper enthielt, der Kaninchenerythrozyten zunächst nicht agglutinierte; erst als er dem Gemisch von Ziegen Serum und Kaninchenerythrozyten das Serum eines Kaninchens, das mit normalem Ziegen Serum immunisiert war, zusetzte, trat eine Agglutination ein. Die Kaninchenerythrozyten waren zweifellos durch einen inkompletten, im Ziegen Serum enthaltenen Antikörper sensibilisiert und wurden durch das Kaninchen-Anti-Ziegenglobulin-Serum agglutiniert. MORESCHI hatte damit erstmals einen Anti-Globulin-Test durchgeführt. COOMBS, MOURANT und RACE (10, 11, 12) haben diesen Test in die menschliche Blutgruppenserologie zum Nachweis inkompletter Antikörper – namentlich Rh-Antikörper – eingeführt und die große praktische Bedeutung dieser Technik zur Lösung verschiedenster serologischer Probleme herausgestellt. Er wird in der serologischen Praxis häufig als COOMBS-Test bezeichnet. Es war nahe liegend, sich der COOMBS-Technik auch in einer entsprechenden Weise bei der Prüfung auf verwandtschaftliche Beziehungen zu bedienen.

3. Anti-Globulin-Konsumptionstests

Außer dem einfachen COOMBS-Test haben wir den Anti-Globulin-Konsumptionstest angewendet, der seit den ersten Veröffentlichungen von STEFFEN (39) wegen seiner großen Empfindlichkeit in zunehmendem Maße Eingang in die praktische Serologie gefunden hat.

4. Agglutinationstests in Form von Kreuzproben

Es ist seit langem bekannt (LANDOIS [21]), daß beim Vermischen von Menschen- und Tierblut oder von Tierbluten verschiedener Arten häufig kräftige serologische Reaktionen auftreten, die wir heute als „Heteroagglutination“ und „Heterolyse“ bezeichnen. So enthalten menschliche Seren im Regelfall Heteroagglutinine, die Menschenaffenerythrozyten gegenüber agglutinatorisch oder lytisch wirksam sein können, ein Umstand, auf den bereits LANDSTEINER und MILLER (22, 23), denen wir die ersten grundlegenden serologischen Arbeiten bei Primaten verdanken, aufmerksam gemacht haben. Im Gegensatz hierzu soll nach DAHR (13) in Menschenaffenserem „nennenswertes Heteroagglutinin nicht enthalten“ sein, das gegen menschliche Erythrozyten gerichtet wäre. – Zur Prüfung der Frage, ob artspezifische Erythrozyten-Antikörper im Serum aller oder eines Teils der untersuchten Hominoiden vorkommen, haben wir Kreuzproben durchgeführt. Dabei wurden die Seren mit Erythrozyten-Aufschwemmungen in schachbrettartiger Anordnung zusammengebracht. Nach beendeter Inkubationszeit wurde auf Agglutination bzw. Haemolyse untersucht.

5. Tests zur Ermittlung von Erythrozyten-Antigenen

Endlich haben wir versucht, die Antigen-Struktur der Erythrozyten bei den uns zur Verfügung stehenden Hominoiden möglichst genau zu bestimmen. Die bisher vorliegenden Ergebnisse sind nämlich höchst lückenhaft, zum Teil beziehen sie sich ausschließlich auf die ABO-Gruppen, zum Teil sind sie aus methodischen Gründen unverwertbar. Auch hierüber hat KRAMP (18) in einem ausführlichen Referat kürzlich berichtet.

Methodik

1. Präzipitationstests

Die Präzipitationsreaktion, die häufig als Methode der biologischen Eiweißdifferenzierung bezeichnet wird, beruht bekanntlich darauf, daß leicht immunisierbare Versuchstiere, denen wiederholt artfremdes Eiweiß (Plasma, Serum) injiziert wird, in ihrem Organismus Antikörper (= Präzipitine) produzieren, die *in vitro* ein Präzipitat mit dem homologen Antigen hervorrufen. Die Plasma-Proteine sind spezifische Antigene, und ihre Antigen-Struktur ist um so ähnlicher, je näher einander die zu prüfenden Individuen in der biologischen Klassifizierung stehen.

Nachdem sich in den letzten Jahren herausgestellt hat, daß Ziegen besonders gute Antikörper-Bildner sind, wählten wir für die Immunisierung Kamerun-Zwergziegen des Zoologischen Gartens Frankfurt. Die Bildung der präzipitierenden Antikörper wurde durch eine siebenmalige intravenöse Injektion (Vena jugularis) von je 1,5 ml Plasma in zweitägigem Intervall induziert. Die erstmalige Gewinnung der Immunsereen erfolgte 10 Tage nach der letzten Injektion. Obgleich sämtliche Versuchstiere

schon auf die erste Injektionsserie recht gut angesprochen hatten, wurde die Immunisierung zu einem späteren Zeitpunkt nach vorangegangener Desensibilisierung (subkutane Injektion von 1,0 ml Plasma) nach dem gleichen Modus fortgesetzt, um möglichst hohe Antikörper-Titer zu erzielen.

Die Präzipitationstests wurden in Form der Ringpräzipitation durchgeführt. Mit Plasma von Menschen und von Menschenaffen wurden mit dem Verdünnungsgrad 1:10 beginnende Verdünnungsreihen angesetzt. Die einzelnen Proben wurden mit je einem Tropfen präzipitierenden Serums unterschichtet. Die Ablesung erfolgte jeweils nach 24stündiger Aufbewahrung bei + 4° C.

Die Präzipitationstests wurden teilweise mit absorbierten Immunsereen durchgeführt. Bezüglich der Absorptionen mußten wir zu einem speziellen Verfahren greifen, da bei Versuchen, eine Absorption unmittelbar mit Serum oder Plasma durchzuführen, Präzipitationen in Form einer starken Opaleszenz auftraten, die sich durch Zentrifugieren nicht beseitigen ließen und eine Verwendung der so absorbierten Immunsereen zu weiteren Präzipitationstests unmöglich machten. Es wurde also notwendig, die Absorption an der Oberfläche von Korpuskeln ablaufen zu lassen. Wie Vorversuche ergaben, eignen sich dazu am besten Erythrozyten-Stromata, auf deren Ursprung es nicht ankommt. Wir verwandten daher die am leichtesten zugänglichen menschlichen Erythrozyten-Stromata, die vor der Absorption der Immunsereen mit dem entsprechenden Serum behandelt worden waren. Erythrozyten-Stromata allein zeigten ebenfalls einen gewissen Absorptionseffekt, der sich als unspezifisch und relativ geringfügig erwies.

2. Anti-Globulin-Tests

Das Prinzip des ursprünglichen Anti-Globulin-Tests besteht darin, daß menschliche Rh-positive Erythrozyten mit einem Serum, das inkomplette Rh-Antikörper enthält, sensibilisiert werden und nach Entfernung der nicht gebundenen Eiweißkörper durch wiederholtes Auswaschen beim Zusatz von Anti-Humanglobulin-Serum agglutiniert werden. In den Anti-Globulin-Tests konnten wir die gleichen Seren verwenden, die von den Kamerun-Zwergziegen im Hinblick auf die Präzipitationsreaktion gewonnen wurden. Da bei der Immunisierung mit Plasma oder Vollserum vorwiegend Antikörper gebildet werden, die gegen die entsprechenden Globulinfraktionen gerichtet sind, können die präzipitierenden Seren ohne weiteres als Anti-Globulin-Seren benutzt werden.

Die Anti-Globulin-Seren wurden unverdünnt und in der Verdünnung 1:10 und 1:50 mit einer 20%igen Aufschwemmung menschlicher Rh-positiver Erythrozyten, die optimal mit inkompletten Rh-Antikörpern beladen waren, auf einfachen Mikroskop-Objekträgern vermischt und nach zwei Minuten langer Inkubation auf der *Diamond-Box* auf Agglutination geprüft.

3. Anti-Globulin-Konsumptionstests

Bei den Anti-Globulin-Konsumptionstests wurden zunächst die Anti-Globulin-Seren mit Seren der verschiedenen Hominoiden absorbiert, nachdem in Vorversuchen diejenige Serum-Konzentration ermittelt worden war, die gerade ausreichte, um bei der homologen Absorption eine vollständige oder nahezu vollständige Entfernung der Antikörper zu erzielen. In diesem Falle durfte also nach Zusatz von menschlichen Rh-sensibilisierten Erythrozyten keine Reaktion auftreten. Diese Kontrolle lief in den Hauptversuchen mit.

4. Agglutinationstests in Form von Kreuzproben

Bei diesen Agglutinationstests bedienen wir uns der Röhrentechnik, wobei in üblicher Weise je ein Tropfen Serum mit je einem Tropfen einer 2–3 %igen Erythrozyten-Aufschwemmung in physiologischer NaCl-Lösung vermischt wurde und nach 90 Minuten langer Inkubation im Wasserbad bei 37° C die erste Ablesung erfolgte. Anschließend wurde zentrifugiert, das überstehende NaCl-Serum-Gemisch abgezogen und durch ein etwa gleiches Volumen 20 %iges Rinderalbumin ersetzt. Die zweite, endgültige Ablesung erfolgte nach einem weiteren 30 Minuten langen Aufenthalt im 37° C-Wasserbad. Außer diesem Albumin-Austausch haben wir den noch empfindlicheren Trypsin-Test (30) durchgeführt. Dazu wurden die Erythrozyten zunächst mit einer 1:10 verdünnten frisch hergestellten Trypsin-Stammlösung unter Berücksichtigung eines optimalen pH-Wertes von 7,7 30 Minuten lang bei 37° C inkubiert. Nach zweimaligem Waschen der Erythrozyten mit physiologischer NaCl-Lösung zur restlosen Entfernung des noch freien Trypsins wurde eine 2–3 %ige Suspension in physiologischer NaCl-Lösung hergestellt und damit der Agglutinationstest mit den entsprechenden Seren angesetzt. Die Ablesung erfolgte nach 30 Minuten langer Inkubation im 37° C-Wasserbad.

5. Tests zur Ermittlung von Erythrozyten-Antigenen

Da zur Bestimmung der Erythrozyten-Antigene bei Menschenaffen menschliche Testseren wegen der stets darin enthaltenen Anti-Art-Antikörper nicht verwendet werden können, mußten die Agglutinationstests grundsätzlich mit Eluaten aus menschlichen Testseren angesetzt werden. Bei der Herstellung dieser Eluate kommt es darauf an, daß Stärke und Titer der Antikörper denen verwendbarer Testseren gleichkommt. Im ABO-System waren daher 5–6 Titerstufen zu verlangen, während bei den M-, N- und Rh(D)-Eluaten 4 Stufen wie bei den entsprechenden Testseren als ausreichend anzusehen sind. Bei den Eluaten von Rh-Untergruppenserum legten wir Wert darauf, entsprechend den Minimalforderungen an Testseren mindestens dreistufige Eluate zu verwenden. Bei der Herstellung von Eluaten gingen wir normalerweise von 1 ml Erythrozyten-Sediment aus, welches mit dem gleichen Volumen des entsprechenden Antiserums 1 Stunde lang bei der jeweiligen optimalen Temperatur inkubiert wurde. Danach wurde das überstehende Antiserum abgegossen, die Erythrozyten 4–5mal mit eiskühler physiologischer NaCl-Lösung ausgewaschen und nach sorgfältigem Abpipettieren der letzten Waschflüssigkeit, die zur Untersuchung auf Freiheit von Antikörpern jeweils aufgehoben wurde, mit $\frac{1}{2}$ Volumen physiologischer NaCl-Lösung versetzt. Unter mehrfachem Aufschütteln wurde dieses Gemisch im Wasserbad auf 56° C erhitzt und in auf 60° C vorgewärmten Zentrifugenbechern kurz (1–2 Minuten) bei 2–3000 rpm zentrifugiert. Unmittelbar danach mußte die überstehende Lösung abpipettiert werden und mit den so gewonnenen Eluaten innerhalb 12 Stunden der entsprechende Agglutinationstest angesetzt werden. Die Agglutinationsversuche wurden in den üblichen Tests angesetzt: bei kompletten Antikörpern mit NaCl-Aufschwemmungen der Erythrozyten nach 30 Minuten langer Inkubation bei Zimmertemperatur, bei inkompletten Antikörpern nach dem Albumin-Austausch-Test in der von DUNSFORD und BOWLEY (14) angegebenen Technik. Zur Prüfung auf ausreichende Empfindlichkeit der Eluate wurden als Kontrollen homologe menschliche Erythrozyten mitgeführt; die Abwesenheit von nichtantikörpergeprägten menschlichen Serumweißkörpern ergab sich aus dem negativen Ausfall der Untersuchung der letzten Waschflüssigkeit. Den Nachweis von Blutgruppensubstanz im Serum, Speichel und Urin haben wir jeweils in Inhibitionstests geführt. Während das Serum ohne jede

Tabelle 2

Präzipitationsreaktion

Anti-Schimpansen-Serum absorbiert mit menschlichem Serum

	1:10	1:20	1:40	1:80	1:160	1:320	1:640	1:1280
Menschl. Plasma	—	—	—	—	—	—	—	—
Bonoboplasma	+++	++	++	+	±	—	—	—
Schimpanseplasma	+++	++	++	+	±	—	—	—
Orangplasma	+++	++	+	±	—	—	—	—
NaCl-Kontrolle	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelle 3

Präzipitationsreaktion

	1:10	1:20	1:40	1:80	1:160	1:320	1:640	1:1280
<i>a. Anti-Schimpansen-Serum absorbiert mit Bonoboserum</i>								
Menschl. Plasma	(+)	±	±	—	—	—	—	—
Bonoboplasma	++	++	+	+	+	±	—	—
Schimpanseplasma	++	++	+	+	(+)	±	—	—
Orangplasma	(+)	±	—	—	—	—	—	—
NaCl-Kontrolle	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>b. Anti-Schimpansen-Serum absorbiert mit Schimpansen Serum</i>								
Menschl. Plasma	+	+	±	—	—	—	—	—
Bonoboplasma	++	++	++	++	+	±	±	—
Schimpanseplasma	++	++	++	++	+	±	±	—
Orangplasma	±	—	—	—	—	—	—	—
NaCl-Kontrolle	—	—	—	—	—	—	—	—

gen, aber verwandten Plasmen die Spezifität der Reaktionen einzuengen. Wie bereits erwähnt, bedienten wir uns eines besonderen Absorptionsverfahrens unter Verwendung menschlicher Erythrozyten-Stromata, die mit Plasma-Eiweißkörpern beladen waren. Bei dieser Versuchsserie gelang es am ehesten, die Anti-Mensch-Quote aus den Anti-Menschenaffen-Seren mit menschlichem Plasma, das an Stromata menschlicher Erythrozyten angelagert war, zu absorbieren (Tabelle 2). Dagegen vermochten die mit Menschenaffenplasma inkubierten Erythrozyten-Stromata anscheinend nicht, die korrespondierenden Anti-Menschenaffen-Antikörper elektiv zu absorbieren; die Absorptionen führten lediglich zu einer Abschwächung sämtlicher Titer (Tabelle 3), so daß Wiederholungsabsorptionen wenig sinnvoll erschienen. Diese unterschiedlichen Ergebnisse erhellen nur die bekannte Tatsache, daß die Distanz des Menschen zu den Menschenaffen größer ist, als die Distanz der einzelnen Menschenaffen-Arten untereinander. Auch die Ergebnisse mit absorbierten Anti-Seren lassen in jedem Fall erkennen, daß sogar quantitativ keine Unterschiede im antigenen Verhalten der Plasma-eiweißkörper zwischen Bonobo und Schimpanse in Erscheinung treten. Die Präzipitationsreaktionen – auch mit absorbierten Anti-Seren – sind offenbar zur feineren serologischen Differenzierung der Partialantigene nicht empfindlich genug.

2. Anti-Globulin-Tests

Als wir die Anti-Globulin-Tests in der oben beschriebenen Versuchsanordnung ansetzten, gingen wir von der Überlegung aus, daß die Anti-Menschenaffenglobulin-Seren vielleicht „stellvertretend“ für das Anti-Humanglobulin-Serum in diese Reaktion eintreten könnten und daß diese Fähigkeit graduell verschieden und vom Grad der Globulin-Verwandtschaft abhängig sei.

Die Ergebnisse der Tabelle 4 zeigen, daß die Fähigkeit, an Stelle des Anti-Humanglobulin-Serums wirksam zu sein, beim Anti-Bonoboglobulin-Serum am größten und deutlich stärker als beim Anti-Schimpansenglobulin-Serum ist; die Kapazität des Anti-Orangglobulin-Serums ist am geringsten. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, daß die Globulin-Verwandtschaft bezogen auf den Menschen beim Bonobo am größten ist. Im Gegensatz zu den Präzipitationstests waren hier Unterschiede zwischen Bonobo und Schimpansen festzustellen.

Tabelle 4
Anti-Globulin-Tests¹

Verdünnung	AHG-Serum	ABG-Serum	ASG-Serum	AOG-Serum
<i>1. Anti-Globulin-Seren absorbiert mit Schimpansen-Erythrozyten</i>				
1: 1	++++	++++	++++	++++
1:10	++++	++++	+++	++
1:50	++++	+++	+	—
<i>2. Anti-Globulin-Seren absorbiert mit Bonobo-Erythrozyten</i>				
1: 1	++++	++++	++++	++++
1:10	++++	++++	+++	++
1:50	+++	++++	+	—
<i>3. Anti-Globulin-Seren, unabsorbiert</i>				
1:50	++++	++++	+++	++

¹ Als Indikator dienten Rh-sensibilisierte menschliche Erythrozyten.

3. Anti-Globulin-Konsumptionstests

Wir gingen noch einen Schritt weiter und führten den Anti-Globulin-Test mit absorbierten Anti-Globulin-Seren durch, wobei Rh-sensibilisierte menschliche Erythrozyten als „Indikator“ dienten. Dabei wurde die Frage geprüft, inwieweit menschliches Serum und Menschenaffenserum in der Lage sind, Antikörper aus den Anti-Globulin-Seren zu „konsumieren“. Es zeigte sich, daß mit Bonoboserum die größte Abschwächung der im Anti-Humanglobulin-Serum enthaltenen Antikörper erzielt werden konnte, während Schimpansenserum und vor allem Orangserum weit weniger Antikörper zu binden vermochten (Tabelle 5, I). Die Konsumptionstests mit den Anti-Menschenaffenglobulin-Seren brachten eine Bestätigung der im Anti-Humanglobulin-Konsumptionstest ermittelten Ergebnisse: Im Anti-Bonoboglobulin-Konsumptionstest blieben bei den gewählten Verdünnungen nach der Absorption mit menschlichem Serum und Bonoboserum die Agglutinationen aus, nicht so nach der Absorption mit Schimpansenserum (++) und Orangserum (+++). Im Anti-Schimpansenglobulin-Konsumptionstest vermochte das homologe Schimpansenserum bei der

Tabelle 5

Anti-Globulin-Konsumptionstests

1. Anti-Humanglobulin-Konsumptionstest		
AHG-Serum + Menschl. Serum	Rh =	+
AHG-Serum + Bonoboserum	sensibilisierte	+
AHG-Serum + Schimpansenserum	menschliche	+++
AHG-Serum + Orangserum	Erythrozyten	++++
2. Anti-Bonoboglobulin-Konsumptionstest		
ABG-Serum + Menschl. Serum	Rh =	—
ABG-Serum + Bonoboserum	sensibilisierte	—
ABG-Serum + Schimpansenserum	menschliche	++
ABG-Serum + Orangserum	Erythrozyten	+++
3. Anti-Schimpansenglobulin-Konsumptionstest		
ASG-Serum + Menschl. Serum	Rh =	++
ASG-Serum + Bonoboserum	sensibilisierte	++
ASG-Serum + Schimpansenserum	menschliche	—
ASG-Serum + Orangserum	Erythrozyten	++
4. Anti-Orangglobulin-Konsumptionstest		
AOG-Serum + Menschl. Serum	Rh =	+++
AOG-Serum + Bonoboserum	sensibilisierte	+++
AOG-Serum + Schimpansenserum	menschliche	++
AOG-Serum + Orangserum	Erythrozyten	+

gewählten Versuchsordnung sämtliche Antikörper zu binden, nach der Absorption mit den heterologen Seren kam es zu deutlichen Agglutinationen. Im Anti-Orangglobulin-Konsumptionstest war der Antikörper-Verbrauch durch das homologe Orangserum am stärksten, etwas geringer durch das Schimpansenserum, am schwächsten durch das Bonobo- und Menschen Serum. Diese Ergebnisse zeigen somit deutliche Unterschiede in der Fähigkeit der Menschen- und Menschenaffen Seren, Antikörper aus den verschiedenen Anti-Globulin-Seren zu „konsumieren“. Sie lassen auf eine im Vergleich zum Schimpansen nähere Globulin-Verwandschaft des Bonobos mit dem Menschen schließen.

4. Agglutinationstests in Form von Kreuzproben

Im NaCl-Milieu haben wir keine durch Anti-Art-Antikörper bedingte Reaktionen beobachten können. Dagegen ließen sich mit der empfindlicheren Albumin- und Trypsintechnik solche nachweisen. In den Tabellen 6 und 7 werden einige Ergebnisse der Kreuzproben wiedergegeben. Beim Vergleich der Tabellen sieht man, daß zwar die im Albumintest erhaltenen Resultate im Prinzip gut mit denen des Trypsintests übereinstimmen, daß aber der letztere, gemessen an der Stärke der Reaktionen, deutlich überlegen ist. Dieser Besprechung sollen daher die Ergebnisse des Trypsintests zugrunde gelegt werden. Bei dem Schimpansen „Yindi“, dem Bonobo „Camillo“ und dem Orang „Rui“ handelte es sich, wie wir mit gereinigten Agglutininen (Eluaten) feststellen konnten, um Individuen der serologischen Gruppe A. Infolgedessen muß angenommen werden, daß die Agglutinationen der menschlichen A₁-Erythrozyten im

Tabelle 6

Kreuzversuch

Menschenaffen-Erythrozyten - Menschenaffen-Seren

Erythrozyten von	Serum von			
	Gorilla „Flughafen“	Schimpanse „Yindi“	Bonobo „Camillo“	Orang „Rui“
<i>1. Albumin-Test</i>				
Schimpanse „Yindi“	—	—	—	—
Schimpanse „Popeye“	h	—	—	—
Schimpanse „Alice“	h	—	—	(+)
Bonobo „Camillo“	+	—	—	++
Bonobo „Eicha“	h	—	—	++
O r a n g „Rui“	—	—	—	—
Human-Erythrozyten				
A ₁	+	+	—	+
A ₂	—	++	—	+
B	—	+++	++	h
O	—	—	—	+
<i>2. Trypsin-Test</i>				
Schimpanse „Yindi“	(+)	—	—	ph
Schimpanse „Popeye“	h	—	—	+
Bonobo „Camillo“	h	—	—	ph
Schimpanse „Alice“	+ph	—	—	ph
Bonobo „Eicha“	h	—	—	h
O r a n g „Rui“	h	+	h	—
Human-Erythrozyten				
A ₁	++	+	—	+
A ₂	—	h	h	h
B	—	++++	(+)	+++
O	—	+++	—	+++ph

Serum des Schimpansen „Yindi“ und des Orangs „Rui“ durch Anti-Menschenerythrozyten-Antikörper bedingt wurden. Die kräftigen Agglutinationen menschlicher A₂- und O-Erythrozyten im Serum dieser beiden Menschenaffen könnten durch ein Anti-H-Agglutinin³ hervorgerufen worden sein, möglicherweise waren auch hier Anti-Art-Antikörper beteiligt. Inwieweit die eine oder andere Komponente wirksam war, hätte nur in Absorptionsversuchen geklärt werden können. Die komplette Hämolyse der menschlichen B-Erythrozyten dürfte teilweise oder ganz durch in den Menschenaffen-seren enthaltenes Isoagglutinin vom Typ Anti-B verursacht worden sein. Im Serum des Bonobos „Camillo“ waren keine artspezifischen Antikörper enthalten. In diese Untersuchungen konnte das Serum eines etwa einjährigen Gorilla-Kindes einbezogen werden. Es handelte sich, wie wir im Serum-Inhibitionstest nachweisen konnten, um

³ Bekanntlich wurden als Anti-H-Antikörper ursprünglich solche Heteroantikörper bezeichnet, die menschliche O-Erythrozyten stark, A₂- und A₂B-Erythrozyten etwas schwächer und die Erythrozyten der übrigen sehr schwach agglutinieren.

ein Individuum der serologischen Gruppe B. Das gestattete Isoagglutinin Anti-A war jedoch im Serum nicht vorhanden, was im Kindesalter durchaus möglich ist; auch Anti-Menschenerythrozyten-Antikörper ließen sich nicht feststellen.

Die Befunde der Tabelle 6 zeigen, daß in den Menschenaffenseren nicht nur Anti-Art-Antikörper vorkommen können, die gegen menschliche Erythrozyten gerichtet sind, sondern daß wir gleichzeitig starke artspezifische Antikörper in den Menschenaffenseren in allen Reaktionsansätzen nachweisen konnten, die den Erythrozyten anderer Menschenaffengattungen gegenüber agglutinatorisch oder lytisch wirksam waren. So fanden wir im Orangserum artspezifische Antikörper gegen Schimpansen- und Bonoboerythrozyten, im Gorillaserum solche gegen Schimpansen-, Bonobo- und Orangerythrozyten und im Schimpansen- und Bonoboserum Anti-Orangerythrozyten-Antikörper. Wir fanden aber keine Anti-Art-Antikörper im Schimpansen und Bonoboserum, die wechselseitig gegen ihre Erythrozyten gerichtet gewesen wären. (Leider standen bei diesen Untersuchungen keine Gorillaerythrozyten zur Verfügung, so daß über das etwaige Vorkommen von Anti-Gorillaerythrozyten-Antikörpern im Schimpansen-, Bonobo- und Orangserum nichts ausgesagt werden kann.)

5. Tests zur Ermittlung von Erythrozyten-Antigenen

Es konnten insgesamt 23 Menschenaffen des Zoologischen Gartens Frankfurt hinsichtlich ihrer Erythrozyten-Antigene untersucht werden. Von 15 Individuen stand Blut als Untersuchungsmaterial zur Verfügung, während wir uns bei den übrigen 8 auf den

Tabelle 7

Antigen-Nachweis an Menschenaffen-Erythrozyten

	Eluat									Antigen-Struktur
	Anti-A	Anti-B	Anti-M	Anti-N	Anti-C	Anti-D	Anti-E	Anti-c	Anti-e	
Schimpanse										
„Yindi“	+	—	+	—	—	+	—	—	—	A M (—D—)
„Buta“	+	—	+	—	—	+	—	—	—	A M (—D—)
„Irumu“	+	—	—	—	—	—	—	—	—	A (— — —)
„Popeye“	+	—	+	—	—	—	—	—	—	A M (— — —)
„Alice“	—	—	+	—	—	—	—	—	—	O M (— — —)
„Andrea“	—	—	+	—	—	+	—	—	—	O M (—D—)
„Dakwa“	—	—	+	—	—	+	—	—	—	O M (—D—)
Bonobo										
„Camillo“	+	—	+	—	—	+	—	+	—	A M (c D—)
„Margrit“	+	—	+	—	—	—	—	—	—	A M (— — —)
„Eicha“	+	—	+	—	—	+	—	—	—	A M (—D—)
Orang										
„Rui“	+	—	+	—	—	+	—	—	—	A M (—D—)
„Saran“	+	+	+	—	—	+	—	+	—	AB M (c D—)
„Sali“	+	—	+	—	—	+	—	+	—	AB M (c D—)

Beim Schimpansen „Yindi“ und Bonobo „Camillo“ ließ sich zusätzlich das Antigen S nachweisen. Im Serum und Speichel konnte in allen Versuchsansätzen die entsprechende Gruppen-Substanz nachgewiesen werden. Das gestattete Isoagglutinin war im Serum regelmäßig vorhanden.

Nachweis der Gruppensubstanz im Speichel oder Urin beschränken mußten. Die Ergebnisse des Antigen-Nachweises an den Erythrozyten sind in der Tabelle 7 zusammengestellt.

Die Befunde der Tabelle 7 können durch folgende Ergebnisse erweitert werden: Bei einem Schimpansen konnte im Serum-Inhibitionstest weder A- noch B-Substanz nachgewiesen werden; dagegen gelang im Titrationsversuch der Nachweis kräftiger Isoagglutinine vom Typ Anti-A und Anti-B, so daß mit Sicherheit die serologische Gruppe 0 diagnostiziert werden darf. Bei 3 weiteren Schimpansen konnte der Nachweis der Zugehörigkeit zur serologischen Gruppe A im Speichel-Inhibitionstest, bei einem weiteren im Urin-Inhibitionstest geführt werden. – Bei einem Orang konnte auf Grund der Ergebnisse des Urin-Inhibitionstests die Gruppendiagnose AB, bei einem zweiten die Gruppendiagnose A gestellt werden. – Bei drei Gorillas wurde übereinstimmend in Inhibitionstests (1 × Serum, 2 × Urin) die serologische Gruppe B diagnostiziert.

Diskussion

Unsere Versuche zielten darauf ab, durch Untersuchungen der Plasma-Eiweißkörper, der artspezifischen und gruppenspezifischen Antikörper im Plasma sowie der antigenen Erythrozyten-Eigenschaften die verwandtschaftlichen Beziehungen von Menschenaffen untereinander und zum Menschen zu analysieren. Nach der klassischen Ringpräzipitation ergab sich eine weitgehende Übereinstimmung in Stärke und Titer der Präzipitine zwischen Bonobo und Schimpansen, und zwar gleichgültig, ob die Tests mit Anti-Schimpansen-, Anti-Bonobo-, Anti-Orang- oder Anti-Mensch-Serum durchgeführt wurden, während menschliches Plasma und Orangplasma immer mehr oder weniger differierende Ergebnisse zeigten. Menschliches Plasma nahm insofern eine Sonderstellung ein, als dieses allein in der Lage war, die Anti-Mensch-Präzipitine aus den Anti-Menschenaffen-Seren zu eliminieren, während mit Menschenaffen-Seren nur eine partielle Absorption möglich war, die unter Umständen sogar als unspezifische Abschwächung gedeutet werden kann, da in vielen Fällen die Reaktionen mit sämtlichen Plasmen gleichmäßig abgeschwächt wurden. Das letztere Ergebnis würde besagen, daß die Trennungslinie zwischen Mensch und Menschenaffen schärfer zu ziehen wäre als die zwischen den Menschenaffen untereinander. Weitergehende detaillierte Schlußfolgerungen oder Hypothesen möchten wir aus den klassischen Präzipitationstests deshalb nicht ableiten, weil Titervergleiche nur sehr bedingt möglich sind, da bei diesen Untersuchungen „Schwanzphänomene“, d. h. langsam sich abschwächende Reaktionen über viele Verdünnungsstufen hinweg, regelmäßig auftreten. Als signifikant können nur solche Titerdifferenzen aufgefaßt werden, die mehr als vier Stufen betragen.

Ergebnisse, die auch in quantitativen Versuchsanordnungen exakt ablesbar sind, liefern die Anti-Globulin- und Anti-Globulin-Konsumptionstests. Es sei jedoch von vornherein bemerkt, daß nicht ohne weiteres die Ergebnisse der Präzipitationstests mit jenen der beiden letztgenannten Tests verglichen werden können, da verschiedene Eiweißfraktionen in den einzelnen Tests erfaßt werden. Zwar werden die relativ hochmolekularen Gamma-Globuline als die stärkeren Antigene in allen Tests das Ergebnis vorwiegend beeinflussen, inwieweit die übrigen Fraktionen sich auf die Reaktionen im einzelnen auswirken, läßt sich auf Grund der vorliegenden Versuche nicht mit Sicherheit ermitteln. Während bei den Präzipitationstests alle Eiweißkörper einschließlich des Albumins sich zu einem gewissen Grade auf das Ergebnis auswirken können, dürfte bei den Anti-Globulin- und Anti-Globulin-Konsumptionstests auf jeden Fall nur die Globuline – und hier wieder vorwiegend die Gamma-Globuline –

auf die Reaktionen einen entscheidenden Einfluß ausüben, da bekanntlich die Rhesus-Antikörper beim Menschen immer Gamma-Globuline sind. Wenn auch somit die unterschiedlichen Ergebnisse in den einzelnen Testgruppen erklärbar sind, so haben wir dennoch vorläufig keine Möglichkeit, die Ursachen des unterschiedlichen Verhaltens näher zu belegen.

Beim Anti-Human-Globulin-Test war es in allen Versuchsansätzen auffallend, daß weniger eine enge Beziehung zwischen Schimpansen und Bonobo zutage trat, sondern daß speziell das Bonoboserum am ehesten in der Lage war, „stellvertretend“ für das menschliche Coombs-Serum bei der Agglutination Rh-sensibilisierter menschlicher Erythrozyten einzutreten. Auch hier wieder zeigte das Anti-Orangglobulin-Serum die geringste Affinität zu menschlichen Globulinen. Da, wie schon erwähnt, die Rhesus-Antikörper des Menschen immer Gamma-Globuline sind, kann man auf eine im Vergleich zum Schimpansen nähere Antigenverwandschaft zwischen Mensch und Bonobo speziell in den Gamma-Globulinen schließen.

Die Befunde in den Anti-Globulin-Tests werden bestätigt und erweitert durch die Anti-Globulin-Konsumptionstests, bei denen wir nicht nur die Absorption des Anti-Humanglobulin-Serums mit verschiedenen Hominoidenserum, sondern auch die drei verschiedenen Anti-Menschenaffenglobulin-Seren testeten. Da als Indikator wieder Rh-sensibilisierte menschliche Erythrozyten verwendet wurden, beziehen sich die nachgewiesenen Absorptionen vorwiegend, wenn nicht ausschließlich, auf das Gamma-Globulin. Wie ein entsprechender Versuch mit einem anderen Indikator-System ausfallen würde, bei dem die Erythrozyten mit solchen Antikörpern beladen werden, die keine Gamma-Globuline darstellen – z. B. Anti-A, Anti-Le^a usw. – müssen spätere Untersuchungen zeigen.

Die bei den Kreuzproben erfaßten Anti-Art-Erythrozytenantikörper kommen anscheinend nur zwischen verschiedenen Gattungen der Hominoiden vor. Wenn nun zwischen Schimpansen und Bonobo, wie unsere Ergebnisse zeigen, wechselseitig solche Antikörper nicht vorkommen, so läßt diese Tatsache wiederum auf eine engere serologische Verwandschaft schließen. In diesem Zusammenhang scheint der Hinweis angebracht, daß die Anti-Art-Antikörper, die häufig inkompletter Natur sind, nur in empfindlichen Tests, teilweise im Albumin-, besser aber im Trypsin-Test mit ausreichender Sicherheit nachgewiesen werden können, nicht dagegen in der üblichen Versuchsanordnung im NaCl-Milieu, die früheren Arbeiten (13, u. a.) zugrunde gelegt wurden. Weiterhin ist es von Bedeutung, zu wissen, daß sich Anti-Art-Antikörper bei Verwendung aktiver Seren häufig in Form einer Hämolyse zu erkennen geben; man würde also bei alleinigem Suchen nach Agglutinationen zu falschen Ergebnissen kommen.

Ein weiteres Kriterium für die Antwort auf unsere Frage könnten blutgruppen-serologische Untersuchungen liefern, wenn die gleiche Antigenverteilung bei einer größeren Individuenzahl der einzelnen Spezies festzustellen wäre. Die bisher vorliegenden Ergebnisse reichen jedoch keinesfalls aus, zumal speziell beim Bonobo bisher nur insgesamt vier Individuen untersucht wurden. BUTTS (3) konnte bei einem Bonobo die Gruppe A M Rh₀ (cD-) ermitteln. Die gleiche Gruppe besaß einer der von uns untersuchten drei Bonobos, bei dem zusätzlich noch das Antigen S festgestellt werden konnte. Bei den beiden anderen geprüften Individuen konnten ebenfalls die Antigene A und M nachgewiesen werden; im Rh-System gelang bei einem Individuum der Nachweis eines schwachen D, das zweite zeigte negativ an. Beim Schimpansen liegen nach KRAMP (18) bisher 143 Untersuchungsbefunde hinsichtlich der ABO-Zugehörigkeit vor; davon sind 132 verwertbar. In seiner Zusammenstellung sind 9 von BEREZ-NAY (1) geprüfte Individuen noch nicht enthalten. Allerdings hat BEREZ-NAY bei einem Schimpansen die Gruppendiagnose AB gestellt. Da der Rezeptor B bisher bei dieser Spezies noch nie nachgewiesen werden konnte, liegt die Vermutung nahe, daß mög-

licherweise ein Teil der Agglutinationen durch artspezifische Antikörper bedingt waren, zumal er keine Hinweise über die angewandte Technik gibt. Wir glauben deshalb, seine Befunde nicht berücksichtigen zu können. Klammern wir weiterhin den in der Zusammenstellung von KRAMP unter den Schimpansen geführten, von BUTTS geprüften Bonobo aus, so verbleiben insgesamt 131 statistisch verwertbare Fälle, welchen 12 eigene Untersuchungsbefunde beim Schimpansen hinzugerechnet werden können, so daß die Gesamtzahl der Befunde 143 beträgt. Bei 123 Individuen (= 86 %) lag die serologische Gruppe A, bei 20 (= 14 %) die Gruppe 0 vor. Beim Orang liegen nach der Zusammenstellung von KRAMP bisher 22 Untersuchungen auf ABO-Zugehörigkeit vor, denen 5 eigene Untersuchungsergebnisse hinzugerechnet werden können. Davon sind 10 Individuen (= 37 %) der serologischen Gruppe A, 10 (= 37 %) der Gruppe B und 7 (= 26 %) der Gruppe AB zuzurechnen. Die Gruppe 0 ist beim Orang bisher nicht festgestellt worden. Sollte tatsächlich beim Orang die Gruppe 0 überhaupt nicht vorkommen, so wäre bei Untersuchung eines größeren Kollektivs die Gruppe AB häufiger zu erwarten (ca. 50 %), vorausgesetzt, daß auch hier A und B allele Gene darstellen. Die große B- und AB-Häufigkeit und das Fehlen der Gruppe 0 unterscheidet die Antigenverteilung des Orangs deutlich von der des Schimpansen. Sie rücken ihn nach der Ansicht von KRAMP in die Nähe des Gibbons (*Hylobates*).

Beim Gorilla liegen bisher nur wenige zuverlässige Befunde vor (4, 5, 6, 7, 8, 38, 45). Es scheint bei dieser Menschenaffengattung, wie auch eigene Befunde an drei Individuen zeigen, ein B-ähnliches Antigen außerordentlich häufig vorzukommen.

Die Tatsache, daß bei den vier bisher untersuchten Bonobos die Gruppe A gefunden wurde, läßt zwar – wegen der kleinen Zahl – nicht auf eine gleichartige Antigenverteilung beim Schimpansen und Bonobo schließen, sie spricht jedoch keineswegs gegen eine solche Annahme. Hätte man z. B. auch nur bei einem Bonobo die Gruppe B oder AB gefunden, so würde dies wegen des völligen Fehlens des B-Antigens bei den bisher untersuchten 143 Schimpansen einen nahezu sicheren Beweis für eine unterschiedliche Antigen-Verteilung zwischen den beiden Spezies liefern.

Da das M-Merkmal nicht nur beim Schimpansen, sondern auch beim Orang recht häufig vorzukommen scheint, kann der bisher regelmäßig beim Bonobo erhobene Gruppenbefund M nicht im Sinne einer verwandtschaftlichen Beziehung gedeutet werden. Auch die bisher vorliegenden Ergebnisse im Rhesus-System liefern dafür keinen Hinweis. Da bisher nur in seltenen Fällen ein c-Antigen nachgewiesen werden konnte und das D-Antigen, wenn überhaupt vorhanden, im Verhältnis zum menschlichen D wesentlich schwächer ausgeprägt war, könnte man erbbiologisch völlig unterschiedliche Gen-Anordnungen bei den Menschenaffen im Vergleich zu der heute als ziemlich sicher geltenden Anordnung der einzelnen Rhesus-Gene auf den Chromosomen-loci beim Menschen vermuten. Insbesondere ist es nicht zulässig, aus den immer negativen Befunden sowohl mit Anti-E- als auch mit Anti-e-Eluaten und den häufig negativen Befunden mit Anti-C- und Anti-c-Reagentien, in Analogie zu den seltenen beim Menschen erhobenen Befunden, von einer Auslöschung der Gene (Deletion) zu sprechen. In diesem Fall müßte nämlich das D-Antigen besonders stark ausgeprägt sein und selbst mit inkompletten Anti-D-Antikörpern im NaCl-Medium eine Agglutination auftreten. Genau das Gegenteil ist aber bei den Menschenaffen der Fall, bei denen das D-Antigen immer deutlich schwächer ausgeprägt ist als beim Menschen, wenn auch graduelle Unterschiede bestehen. Im Regelfall dürfte die Ausprägung etwa einem high grade D^u des Menschen entsprechen. Ob bei den negativen Reaktionsausfällen dennoch ein low grade D^u vorliegt, müssen spätere Versuche zeigen, bei denen entsprechende Anti-Globulin- und Enzym-Techniken Anwendung finden. Ebenso ist bei den Untergruppen-Antigenen C, c, E, e noch nicht das letzte Wort gesprochen. Auch hier werden in Zukunft auszuführende Tests mit empfindlicheren Methoden und kräftigeren Eluaten möglicherweise neue Aspekte eröffnen. Dabei muß insbesondere vom

erbbiologischen Standpunkt die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, daß sich beim Menschenaffen Suppressor-Gene im Rhesus-System mit großer Regelmäßigkeit manifestieren, die beim Menschen bekanntlich im Rhesus-System keine Rolle spielen.

Insgesamt gesehen lassen die Ergebnisse der serologischen Reaktion erkennen, daß enge verwandschaftliche Beziehungen zwischen Bonobo und Schimpanse bestehen. Das gleichmäßige Verhalten der beiden Spezies in den klassischen Präzipitationstests und das wechselseitige Fehlen von Anti-Art-Antikörpern schließen aus, daß es sich hier um verschiedene Gattungen handelt. Die serologischen Ergebnisse machen nicht einmal eine artliche Abtrennung unbedingt erforderlich. Wenn die Reaktionen in den Anti-Globulin-Tests und Anti-Globulin-Konsumptionstests mehr mit dem Menschen als mit dem Schimpansen parallel gingen, so dürfen diese Befunde schon deshalb nicht überbewertet werden, weil hier wahrscheinlich nur eine Eiweißfraktion, nämlich das Gamma-Globulin, erfaßt wurde. Ob eine engere Verwandtschaft zum Menschen als beim Schimpansen auch hinsichtlich anderer Antigene vorliegt, müßten spätere Untersuchungen zeigen.

Zusammenfassung

Es wird über serologische Untersuchungen zur Frage der verwandschaftlichen Beziehungen zwischen dem Bonobo (*Pan paniscus* SCHWARZ 1929) und anderen Hominoiden berichtet.

In der klassischen Ringpräzipitation konnte eine weitreichende Ähnlichkeit im antigenen Verhalten der Plasma-Eiweißkörper des Bonobos im Vergleich zum Schimpansen festgestellt werden.

Dagegen ließen sich in den Anti-Globulin-Tests und Anti-Globulin-Konsumptionstests Unterschiede zwischen Bonobo und Schimpanse nachweisen. Hier zeigte der Bonobo eine im Vergleich zum Menschen engere Globulin-Verwandschaft, die wahrscheinlich speziell in den Gamma-Globulinen besteht.

In den Agglutinationstests zum Nachweis artspezifischer Anti-Erythrozyten-Antikörper wurden solche Antikörper zwischen allen Hominoiden-Gattungen festgestellt, nicht aber zwischen Bonobo und Schimpanse.

Die beim Bonobo bisher vorliegenden Blutgruppenbefunde stehen im Einklang zu den Befunden beim Schimpansen.

Die Versuchsergebnisse schließen eine gattungsmäßige Abtrennung des Bonobos aus; sie machen eine artliche nicht unbedingt erforderlich.

Summary

A serological study is reported on the question of relationship between the Lesser Chimpanzee (*Pan paniscus* SCHWARZ 1929) and other hominoidea.

By classical ring precipitation a wide similarity in the reactions of plasma proteins of *Pan paniscus* and *Pan troglodytes* has been found.

In anti-globulin tests and anti-globulin consumption tests differences between *Pan paniscus* and *Pan troglodytes* could be established. The globulins of *Pan paniscus* were found to be nearer related to human globulins than those of *Pan troglodytes*. It is assumed that the nearer relationship is especially caused by the gamma globulins.

In agglutination tests anti-species erythrocyte antibodies have been found among hominoidea genera, but not between *Pan paniscus* and *Pan troglodytes*.

The blood group reactions of *Pan paniscus* observed so far are corresponding to those of *Pan troglodytes*.

The results of these serological investigations support the conception of those authors, who reject a separation of *Pan paniscus* and *Pan troglodytes* in different genera. It seems not even to be necessary to separate in different species.

Résumé

L'auteur rapporte sur des examens sérologiques qui ont pour but d'éclaircir les relations génétiques entre le Bonobo (*Pan paniscus* SCHWARZ 1929) et d'autres Hominoidés.

Au moyen de la précipitation classique, l'auteur constate une ressemblance considérable entre le comportement antigène des protéines du plasma du Bonobo et ceux du Chimpanzé.

L'épreuve antiglobuline et l'épreuve de consommation antiglobuline par contre, mettent en évidence des différences entre le Bonobo et le Chimpanzé. A cet égard le Bonobo montre une affinité des globulines à ceux de l'homme, qui concerne probablement en particulier les gamma-globulines.

Dans les épreuves d'agglutination pour la mise en évidence des anticorps anti-érythrocytes, significatifs pour l'espèce, l'auteur pouvait démontrer de tels anticorps entre tous les genres des Hominoïdes, tandis qu'ils n'existent pas entre le Bonobo et le Chimpanzé.

Selon nos connaissances récentes, le status des groupes sanguins du Bonobo est en accord avec celui du Chimpanzé.

Ces résultats s'opposent à une séparation du Bonobo comme un propre genus; ils n'existent pas une séparation comme propre espèce.

Literatur

1. BEREZNAV, Y. (1959): Composition du sang des singes anthropoïdes par rapport au sang humain; Bull. Soc. Roy. Zool., Anvers, 10. — 2. BERGH, W. VAN DEN: Zit. nach FIEDLER, W. (1956). — 3. BUTTS, D. C. A. (1953): Hemagglutinogens of the chimpanzee; Amer. J. Phys. Anthropol. 11, 215-224. — 4. CANDELA, P. B. (1940): New data on the serology of the anthropoid apes; Amer. J. Phys. Anthropol. 27, 209-221. — 5. CANDELA, P. B. (1940): Serology of the anthropoid apes; Ibid. 27, 479-480. — 6. CANDELA, P. B. (1940): The blood-grouping of the *Gorilla gargantua*; Ibid. 27, Suppl. 7-8. — 7. CANDELA, P. B. (1942): New data on the blood groups of apes and monkeys; Ibid. 29, 318-319. — 8. CANDELA, P. B., WIENER, A. S. and GOSS, L. J. (1940): New observations on the blood group factors in Simiidi and Cercopithecidae; Zoologica 25, 513-521. — 9. COOLIDGE, H. (1933): *Pan paniscus*, pygmy Chimpanzee from south of the Congo river; Amer. J. Phys. Anthropol. 18, 1-57. — 10. COOMBS, R. R. A., MOURANT, A. E. and RACE, R. R. (1945): Detection of weak and „incomplete“ Rh agglutinins: a new test; Lancet, II, 15. — 11. COOMBS, R. R. A., MOURANT, A. E., and RACE, R. R. (1945): A new test for the detection of weak and „incomplete“ Rh agglutinins; Brit. J. exp. Path. 26, 255-266. — 12. COOMBS, R. R. A., MOURANT, A. E. and RACE, R. R. (1946): In vivo isosensitization of red cells in babies with haemolytic disease; Lancet, I, 264-266. — 13. DAHR, P. (1939): Über Blutgruppen bei Anthropoïden; Z. Morph. Anthropol. 38, 38-45. — 14. DUNSFORD, I. and BOWLEY, C. C. (1955): Techniques in Blood Grouping; Oliver & Boyd, Edinburgh. — 15. FIEDLER, W. (1956): Übersicht über das System der Primates; In: Primatologia, I, 1-266, Karger, Basel/New York. — 16. FRECHKOP, S. (1953): Animaux protégés du Congo Belge et dans le territoire sous mandat du Ruanda-Urundi; Bruxelles. — 17. KRAMP, P. (1956): Serologische Stammbaumforschung; In: Primatologia, I, 1015-1034, Karger, Basel/New York. — 18. KRAMP, P. (1960): Blutgruppen und Blutfaktoren; Ibid., III, 2, 88-162. — 19. KROGH, CHR. v. (1937): Serologische Untersuchungen über die stammesgeschichtliche Stellung einiger Primaten; Anthropol. Anz. 13, 240-247. — 20. KROGH, CHR. v. (1938): Serologische Verwandtschaft oder stammesgeschichtliche Verwandtschaft? Zool. Anz. 123, 206-213. — 21. LANDOIS, (1875): Die Transfusion des Blutes; Leipzig. — 22. LANDSTEINER, K. and MILLER, C. P. (1925): Serological observations on the relationship of the bloods of man and the anthropoid apes; Science 61, 492-493. — 23. LANDSTEINER, K. and MILLER, C. P. (1925): Serological studies on the blood of the primates. I. The differentiation of human and anthropoid bloods. II. The blood groups in anthropoid apes. III. Distribution of serological factors related to human isoagglutinogens in the blood of lower monkeys; J. exp. Med. 42, 841-852, 853-862, 863-872. — 24. MILLER, R. A. (1952): The musculature of *Pan paniscus*; Amer. J. Anat. 91, 183-232. — 25. MOLLISON, TH. (1912): Die Präzipitinreaktion als Zeugnis für die Anthropomorphenverwandtschaft des Menschen; KorrespBl. Dtsch. Ges. Anthropol. 43, 132-135. — 26. MOLLISON, TH. (1926): Serologische Verwandtschaftsforschung am Menschen und an anderen Primaten; Tag.-Ber. Dtsch. Anthropol. Ges., 88-92. — 27. MOLLISON, TH. (1936): Die serologischen Beweise für eine chemische Epigenese in der Stammesgeschichte des Menschen; Arch. Rassenbiol. 30, 457-468. — 28. MOLLISON, TH. (1937): Serologische Untersuchungen am Ardeiweiß des Menschen und anderer Primaten; Verh. Ges. phys. Anthropol. 8, 16-26. — 29. MORESCHI, C. (1908): Neue Tatsachen über die Blutkörperchenagglutination; Zbl. Bakt. 46, 49-51. — 30. MORTON, J. A. and PICKLES, M. M. (1951): The proteolytic enzyme test for detecting incomplete antibodies; J. clin. Path. 4, 189-199. — 31. NUTTALL, H. F. G. (1901): The new biological test for blood in relation to zoological classification; Proc. Roy. Soc. London 69, 150-153. — 32. NUTTALL, H. F. G. (1904): Blood immunity and blood relationship. A demonstration of certain blood-relationships amongst animals by means of the precipitin test for blood; University Press, Cambridge. — 33. RODE, P. (1937): Les races géographiques du Chimpanzé (*Pan satyrus* L.); Mammalia, Paris, 1, 165-177. — 34. SCHOUTEDEN, H. (1944): De zoogdieren van Belgisch-Kongo en van Ruanda-Urundi. I. Primates, Chiroptera, Insectivora, Pholidota; Ann. Mus. Congo (C, II) 3, 1 bis

168. — 35. SCHULTZ, A. H. (1954): Bemerkungen zur Variabilität und Systematik der Schimpansen; Säugetierkdl. Mitt. 2, 159–163. — 36. SCHWARZ, E. (1929): Das Vorkommen des Schimpansen auf dem linken Kongoufer; Rev. Zool. Bot. Afr. 16, 425–426. — 37. SCHWARZ, E. (1934): On the local races of the Chimpanzee; Ann. Mag. nat. Hist. (10) 13, 576–583. — 38. SPIELMANN, W. (1958): Serologische Untersuchungen bei einem Gorilla des Frankfurter Zoologischen Gartens; Anthrop. Anz. 22, 156–164. — 39. STEFFEN, C. und SCHINDLER, H. (1955): Bericht über die Verwendung des Antihumanglobulin-Ablenkungsversuches für den Nachweis eines Antileukozyten-Antikörpers bei Agranulozytosen; Münch. med. Wschr. 97, 469. — 40. STERN, R. (1901): Über den Nachweis menschlichen Blutes durch ein „Antiserum“; Dtsch. med. Wschr. 27, 135. — 41. TRATZ, E. P. und HECK, H. (1954): Der afrikanische Anthropeide „Bonobo“, eine neue Menschenaffengattung; Säugetierkdl. Mitt. 2, 97–101. — 42. UHLENHUTH, P. (1901): Eine Methode zur Unterscheidung der verschiedenen Blutarten, im besonderen zum differentialdiagnostischen Nachweise des Menschenblutes; Dtsch. med. Wschr. 27, 82–83. — 43. UHLENHUTH, P. (1904): Ein neuer biologischer Beweis für die Blutsverwandtschaft zwischen Menschen- und Affengeschlecht; KorrespBl. Dtsch. Ges. Anthropol. 35, 114–118. — 44. WASSERMANN, A. und SCHÜTZE, A. (1901): Über eine neue forensische Methode zur Unterscheidung von Menschen- und Tierblut; Berl. klin. Wschr. 38, 187–190. — 45. WIENER, A. S., CANDELA, P. B. and GOSS, L. J. (1942): Blood group factors in the blood, organs and secretions of primates; J. Immunol. 45, 229–235.

Anschrift der Verfasser: Dr. med. vet. J. SCHMITT, Zoologischer Garten Frankfurt a. M., Prof. Dr. med. W. SPIELMANN und FrI. M. WEBER, Blutspendedienst der Universitätskliniken Frankfurt a. M.

Mutation „hairless“ bei der Feldmaus, *Microtus arvalis* (PALLAS)

VON FRITZ FRANK

Aus dem Institut für Grünlandschädlinge der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Oldenburg i. O.

Eingang des Ms. 15. 5. 1961

Die intensivere Bearbeitung der Feldmaus hat zunächst erklärlicher Weise Färbungs-Mutationen (FRANK und ZIMMERMANN 1957, REICHSTEIN 1957), aber auch erbliche Wachstums-Anomalien (Hydrocephalus — STEIN 1957, geheftete Zehen — FRANK 1959) zutage gebracht. Nunmehr trat in einem Inzucht-Stamm der von FRANK und ZIMMERMANN beschriebenen „silver“-Mutation auch eine erbliche Haarbildungs-Anomalie auf, die in der Hausmaus-Genetik schon seit dem Jahre 1926 bekannt ist (GRÜNEBERG 1952).

Es handelt sich um die Hypotrichosis cystica (DAVID 1932), die von den Genetikern als „hairless“ (Symbol hr) bezeichnet wird und sich rezessiv vererbt. Genau wie bei *Mus musculus* bekommen die nackt geborenen Homozygoten zunächst ein normales Nestlingskleid, das zwischen dem 10. und 14. Lebenstage zuerst am Kopf und an den Extremitäten auszufallen beginnt. Ungefähr 10 Tage später ist das Jungtier mit Ausnahme der Vibrissen (Schnurrhare) völlig nackt und behält diesen Zustand zeitlebens bei. Nach DAVID kommt dieser Haarausfall dadurch zustande, daß kein normaler Haarbalg gebildet wird und das entstandene Haar ohne Befestigung bleibt. Die späteren Haarwechsel werden zwar histologisch eingeleitet, doch kommen die sich bildenden Haare nicht mehr zum Durchbruch oder allenfalls zu anomalem Durchbruch, so daß sie schnell wieder ausfallen. Mit zunehmendem Alter hört die Haarbildung mehr und mehr auf.